

2009 年度 修士論文要旨

## Si ULSI の微細化限界を打破する新規ドーパントの探索

### ーコ・ドーピング法による低抵抗極浅接合形成法ー

関西学院大学大学院理工学研究科  
情報科学専攻 早藤研究室 神原 将郎

近年の電子機器の高性能化や多機能化を実現してきた MOSFET のスケーリングダウンによる Si ULSI の微細化が限界レベルに達しようとしている. Si ULSI の微細化限界を打破するための多くの主要な技術課題の一つに, 非常に浅いソース/ドレイン接合領域におけるソース/ドレイン抵抗の低減がある. しかし, 従来の n 型ドーパントである P は, アニール中の過渡増速拡散によって浅い接合の形成が困難であり, As と Sb においては空孔との電気的不活性な複合体形成によりシート抵抗の増加を引き起こすことが問題である. また, p 型ドーパントである B においては, 質量が軽いイオン注入による長い射影飛程が問題となっている.

これらの問題を解決するため, Si 結晶中でドナーとアクセプタとして働く元素を同時にドーピングして形成される二種三原子のトライマー コ・ドーパントを用いるコ・ドーピング法に注目した. トライマー コ・ドーパントによって期待できる効果は3つある. 1つ目は, Si との原子半径の差による格子歪を減少させることで, 欠陥形成エネルギーを低下させるためトライマー コ・ドーパントの固溶限を増大できることである. 2 点目は, ドナー, もしくはアクセプタとなるトライマー コ・ドーパントは, その強い相互作用によって第一近接あるいは第二近接配位した n-p-n, もしくは p-n-p 複合体を形成し, 従来の単原子をドーピングしたときに形成する不純物準位よりもより浅い不純物準位を形成し, キャリア生成の活性化率が大きく増大することである. 3 点目は, トライマー コ・ドーパントによる散乱機構は, 単原子ドーパントの単独ドーピングでの長距離相互作用( $1/r$ )ではなく, 双極子( $1/r^3$ )の複合による短距離相互作用となるため, ドーパントが増大しても単原子ドーパントのドーピングのときとは反対に散乱が減少し, キャリア移動度は減少しないことである. これらに加えて, 我々はドナーとアクセプタイオン間の強いクーロン引力による強い結合力によって, トライマー コ・ドーパントの拡散係数は極めて小さくなるため非常に浅いソース/ドレイン接合領域の形成が可能であることを見出した.

本研究では, 第一原理計算である DV-X $\alpha$  分子軌道法と VASP(Vienna Ab-initio

Simulation Package)を用いて、トライマー コ・ドーパントの電子状態計算を行い、トライマー コ・ドーパントの形成可能性を評価し、さらにトライマー コ・ドーパントが生成できるキャリア濃度を調査した結果、トライマー コ・ドーパントは Si 結晶中で安定に存在し、従来の単原子ドーパントよりもキャリア濃度を増大させる n 型トライマー コ・ドーパントとして  $\text{Sb}_2\text{B}$  を、p 型トライマー コ・ドーパントとして  $\text{Al}_2\text{P}$  を発見した。これらのトライマー コ・ドーパントは、Si ULSI の微細化限界を打破する新規ドーパントとして期待できる。